1В

УДК 004.82+007.52

О.О. Варламов, А.Н. Владимиров, Р.А. Санду
ФГУП «Научно-исследовательский институт Радио», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
ООО «МИВАР», г. Москва, Россия
info@mivar.ru, ovar@mivar.ru, ovar@narod.ru

Теоретическое развитие миварных сетей для реализации правил выбора «ЕСЛИ..., ТО..., ИНАЧЕ...» на основе многодольных графов

Показано теоретическое развитие миварных сетей, которые используются для создания различных экспертных систем и Многомерных эволюционных прикладных автоматизированных информационных систем (МЭПАИС) поддержки принятия решений. Проведен анализ существующих подходов и предложены новые пути развития миварных сетей на основе трехдольных и многодольных графов для реализации правил выбора «Если..., то..., иначе...» для эволюционной обработки логических правил и вычислительных процедур в реальном времени.

Введение

Методы создания интеллектуальных систем нашли широкое практическое применение в современных автоматизированных системах. Особую роль играет моделирование рассуждений [1], применение методов дискретной математики [2], миварных баз данных и правил [3], формирование пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web [4]. Известная многомерная эволюционная прикладная автоматизированная информационная система (МЭПАИС) поддержки принятия решений применяется в различных предметных областях и основана на миварных логических сетях и использовании линейного матричного метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил [5-8]. Проведенный анализ возможностей миварного подхода и продукций показал, что существуют определенные ограничения для их применения в современных информационных системах [1-14]. Например, существовало такое ограничение в миварных логических сетях, что нельзя было использовать правила выбора, когда только часть выходных переменных получает значения. Формально это можно записать в виде: «если..., то ..., иначе...». Конечно, и в формате традиционных правил «если ..., то ...» можно составить описание предметной области, хотя оно будет более сложным и потребует значительно большего количества «элементарных правил». Таким образом, развитие миварного подхода и продукций является актуальной и практически важной задачей [3], [5-8], [15-21].

Целью данной работы является развитие миварных сетей на основе трехдольных и многодольных графов для реализации правил выбора «Если..., то..., иначе...» для эволюционной обработки логических правил и вычислительных процедур в реальном времени.

Логико-вычислительная обработка информации, миварные сети и базы данных

Прежде всего, отметим, что для решения многих задач требуется проводить как логическую, так и вычислительную обработку данных. Ранее разделяли проблемы обработки и хранения различных данных. Базы данных преимущественно использовались

только для хранения и поиска требуемых данных, а системы логического вывода и вычислений применялись для обработки информации, поиска решений и т.п. Получалось, что эти области относительно слабо пересекались, хотя в плане перспектив развития в каждой из них регулярно провозглашались цели объединения всех функций по накоплению и обработке информации в одной системе [1-21]. Рассмотрим принципы организации и структурирования данных в существующих моделях данных баз данных (БД).

В работе [3] проведен анализ практически всех моделей представления данных: реляционных, сетевых, иерархических, семантических сетей, инфологических, онтологий, «сущность-связь» и миварного информационного пространства (всего более 25 моделей данных). В работе [10] М.Р. Когаловский описывает эволюцию технологий баз данных и систематизирует сведения о важнейших технологиях, состоянии и перспективах развития базовых стандартов моделей данных. Среди перспективных исследований выделим следующие: создание новых технологий для крупномасштабных систем; поддержка логики приложений в среде базы данных; интеграция структурированных и слабоструктурированных данных [10, с. 74-75].

А.С. Марков и К.Ю. Лисовский в своей работе [11] рассмотрели основные математические модели представления об отношении: теоретико-множественные, конструктивные и предикатные. Также они обосновали выбор методов вычислительной логики для повышения уровня интеллектуальности реляционных баз данных и ввели понятие «логическое программирование реляционных баз данных» в качестве одного из названий направления «дедуктивные базы данных».

А.Р. Саймон в своей работе [12] дает многоаспектный анализ ключевых областей современных массовых технологий баз данных и оценивает перспективы их развития. Особый интерес представляют принципы активных систем управления баз данных (СУБД): «среды активных баз данных представляют собой некоторую комбинацию возможностей искусственного интеллекта (ИИ) и управления данными» [12, с. 319]. В качестве способа представления бизнес-правил в контексте активных БД А.Р. Саймон описывает «используемые в области искусственного интеллекта правила продукций... во многих отношениях языки правил в этих областях (искусственный интеллект и базы данных) концептуально подобны, и ... в будущем эти две области достигнут тесной интеграции» [12, с. 319]. Более того, «активные базы данных открывают двери на пути к пока еще неуловимому будущему интеллектуальных баз данных с высоким уровнем технологии искусственного интеллекта» [12, с. 320-321]. Подчеркнем, что «это будущее» уже наступило и реализовано оно в миварном подходе и программе «УДАВ» [6-8], [15]. В книге [13] подробно рассмотрены структуры данных и алгоритмы, которые являются фундаментом современной методологии разработки программ. Для создания новых принципов организации и структурирования данных для реально работающих МЭПАИС важным является оценка времени выполнения различных программ, трактовка которых в [13, с. 28-36] и в [2, с. 227-239] значительно отличается. С.Д. Кузнецов пишет: «наиболее близко находятся современные объектно-ориентированные СУБД, модели данных которых по многим параметрам близки к семантическим моделям (хотя в некоторых аспектах они более мощны, а в некоторых – более слабы)» [14, с. 144]. Там же рассмотрены «некоторые черты одной из наиболее популярных семантических моделей данных – модель “Сущность-Связь” (ER-модель)» [14, с. 144]. В [3] есть формальные представления структур представления данных ER-модели и миварного информационного пространства. Таким образом, существовали теоретические разработки по объединению логической и вычислительной обработки. Из всех моделей данных наиболее перспективным является миварное информационное пространство [3], [21].

Покажем возможность представления продукций в виде многодольных графов. Напомним определения двудольных графов, которые необходимы для продолжения анализа. «Граф G = (V, E) называется двудольным, если существует разбиение V = {V1,

V2}, такое, что никакие две вершины из V1 или из V2 не являются смежными» [9, с. 223]. «Двудольным графом G = (X, Y, E) называется неориентированный граф, вершины которого можно разбить на два класса X и Y так, что концы каждого ребра принадлежат разным классам» [2, с. 125]. Далее: «введенные понятия допускают естественное обобщение. Неориентированный граф называется k-дольным, если его вершины можно разбить на k классов так, что концы каждого ребра принадлежат разным классам» [2, с. 125]. Таким образом, можно использовать и двудольные, и трехдольные, и многодольные (k-дольные) графы для разных предметных областей.

В [5] представлены теоретические основы создания миварного метода. Для сети правил, представленной в списочной форме, строится матрица. Пусть известны m – правил и n – переменных. Тогда в матрице V (n × m) представлены все взаимосвязи между правилами и переменными. Пример такой матрицы показан на рис. 1. На рис. 2 эта же матрица показана в виде исходного задания двудольного графа миварной сети.

V	1	2	3	4	5	...	n-2	n-1	n	n+1
1	x	x	x					y	y	**2**
2			x	y	y			x	x	**2**
...						...				
m		x		x	x		y			**2**
m+1	**z**	**z**	**z**	**z**	**z**		**z(w)**	**z**	**z**	

Рисунок 1 – Пример обработки матрицы **V**

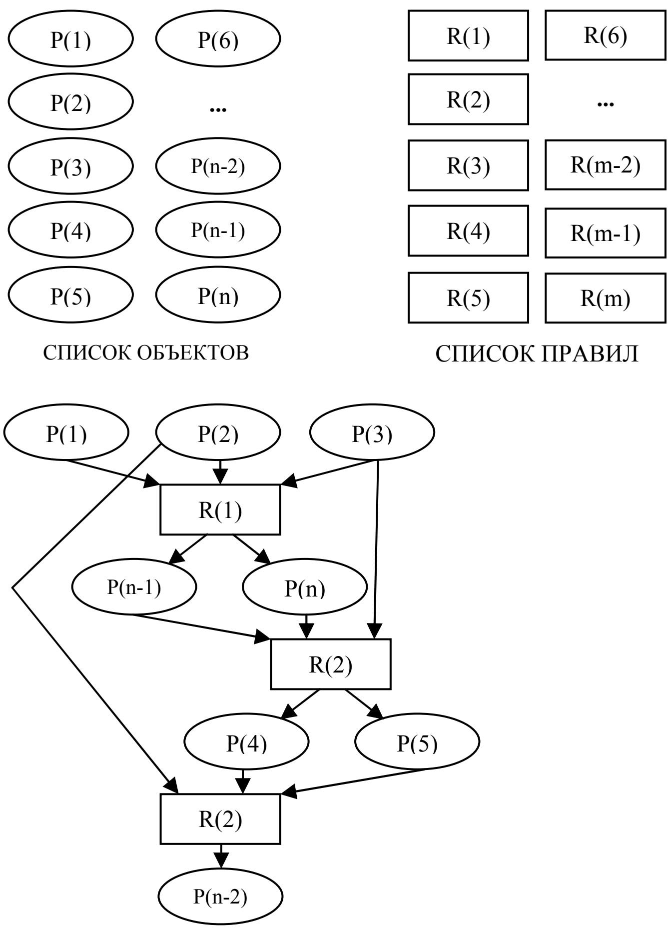


Рисунок 2 – Пример поиска логического вывода на миварной сети

Входные переменные правила помечаются символом x, выходные – y, «выводимые» переменные – z, а все искомые переменные – w. В матрицу V добавим одну строку и один столбец для хранения служебной информации. Получаем матрицу V размернос-

ти (n+1)×(m+1), в которой отражена вся структура исходной сети правил, которая может изменяться. Структура этой логической сети может изменяться в любое время. Для поиска маршрута логического вывода производят следующие действия. В строке (m+1) помечают известные z и искомые w переменные, например, как на рис. 1 в строке на позициях: z – 1, 2, 3 и w – (n – 2). По рис. 1 и 2 «в обратном порядке» можно восстановить все этапы работы. Последовательно выполняют поиск таких правил, которые могут быть активизированы (известны все входные переменные). Если таких правил нет, то результата нет, и необходимо выдать запрос на уточнение входных данных. Если такие правила есть, то у каждого из них делается пометка, что правило может быть запущено. При запуске правила m появляются новые значения, в том числе и для искомых переменных. В нашем примере получен положительный результат.

Правила выбора и переход к многодольным графам

Рассмотрим, как можно сделать так, чтобы после «выполнения» правила получали значение не все переменные (объекты). Существующие до этого правила будем называть процедуры, т.к. после них все выходные переменные получают значения. Такие правила представляют двудольным графом: объекты-переменные; процедуры.

Возможно использование многодольных графов в целях повышения адекватности моделирования для отдельных задач и различных предметных областей. Для реализации выбора по значениям введем новый тип правил: выбор. Например, если существует два выхода: ДА или НЕТ. В формализме многодольных графов это означает введение третьего типа объектов графа:

1) переменные;

2) процедуры (без выбора);

3) правила выбора, когда часть переменных получает значение, а другая – нет.

На рис. 3 первый тип объектов показан «кругами», второй тип – «прямоугольниками», а третий тип – «треугольниками» с двумя типами «исходящих стрелок», например: «сплошные линии» – это «да», а «пунктирные линии» будут соответствовать значению «нет».

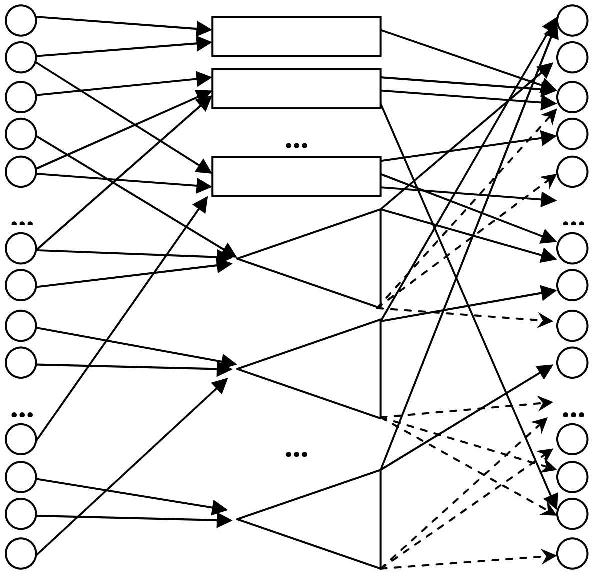


Рисунок 3 – Трехдольный граф миварной сети правил

Впрочем, можно сразу делать более сложный выбор: из нескольких выходных переменных выбирать часть переменных «ДА», а оставшиеся переменные этого же правила будут «НЕТ», и создать для них отдельную матрицу. По этим же принципам

можно реализовывать не только двузначный выбор «да/нет», но и более сложные правила выбора из нескольких альтернатив: от двух и больше, например: 3, 4, ... 10 и так далее. Аналогично можно переходить к более многодольным графам.

Для многодольных графов [2, с. 125] предлагается следующий вариант их представления в миварных сетях. Пусть всего будет (К+1)-типов вершин графа, т.е. (К+1)-дольный граф. Нумерацию «долей» такого многодольного графа рекомендуется начать (по математической традиции) с «нулевой» доли и обозначать ее на рисунках в виде кружочка или овала. Все остальные вершины других долей графа предлагаем обозначать по номеру типа от «единицы» до «К», а на рисунке отображать их в виде прямоугольников. Пример представления (К+1)-дольного графа показан на рис. 4.

В каждом овале и прямоугольнике есть описание узла графа, которое означает следующее: буква – это выделение объектов (Р) и правил (R), далее в скобках первый символ соответствует номеру типа узла (доли) графа, а после запятой набор символов (буквы и цифры) обозначает номер узла в каждом типе многодольного графа: Р(0,n – 2) означает «узел нулевого типа (“объект”) с номером (n – 2)».

Запись R(i,j) означает «узел “правило” типа i с номером j». Запись R(К,mK-1) – это «узел “правило” типа К с номером в этом типе правил (mK – 1)».

Описание правил выбора из двух альтернатив

Прежде всего, рассмотрим выбор из двух альтернатив. Для этих «правил выбора» определяем все входные переменные, а после их «запуска», в зависимости от самого правила, значения будут получать только одна или несколько «однотипных» переменных из всего множества выходных переменных этого правила, т.е. определенная заранее часть переменных, что будет зависеть от того, как будет устроено каждое конкретное правило. Затем часть переменных получает значение (которые «ДА») и «вычеркиваются», а все остальные (которые «НЕТ») получают специальное значение «отрицание» (или что-то подобное) и также вычеркиваются из общей матрицы описания подобных правил выбора. Такое решение требует развития миварных сетей в следующем направлении. Необходимо ввести специальное новое значение. Если раньше у нас было два значения:

1) известно и есть число,
2) «пока не известно»,

то теперь надо добавить в описания правил выбора третье значение:

3) «не могут иметь значения» – то есть ложная ветвь поиска.

Предложен следующий вариант реализации такого подхода: в едином трехмерном пространстве в двумерных плоскостях у нас будут описываться конкретные предметные области, а по третьему измерению мы будем вводить новые двумерные плоскости.

Тогда получим, что для описания каждой предметной области будут использоваться плоскости или двумерные матрицы – массивы:

– плоскость входных значений правил «процедур» с бинарными значениями «да / не известно»;

– плоскость выходных значений правил «процедур» с бинарными значениями «да / не известно»;

– плоскость входных значений правил выбора с бинарными значениями «да / не известно»;

– плоскость выходных значений правил выбора с тремя значениями: «да / не известно / не будут иметь значение».

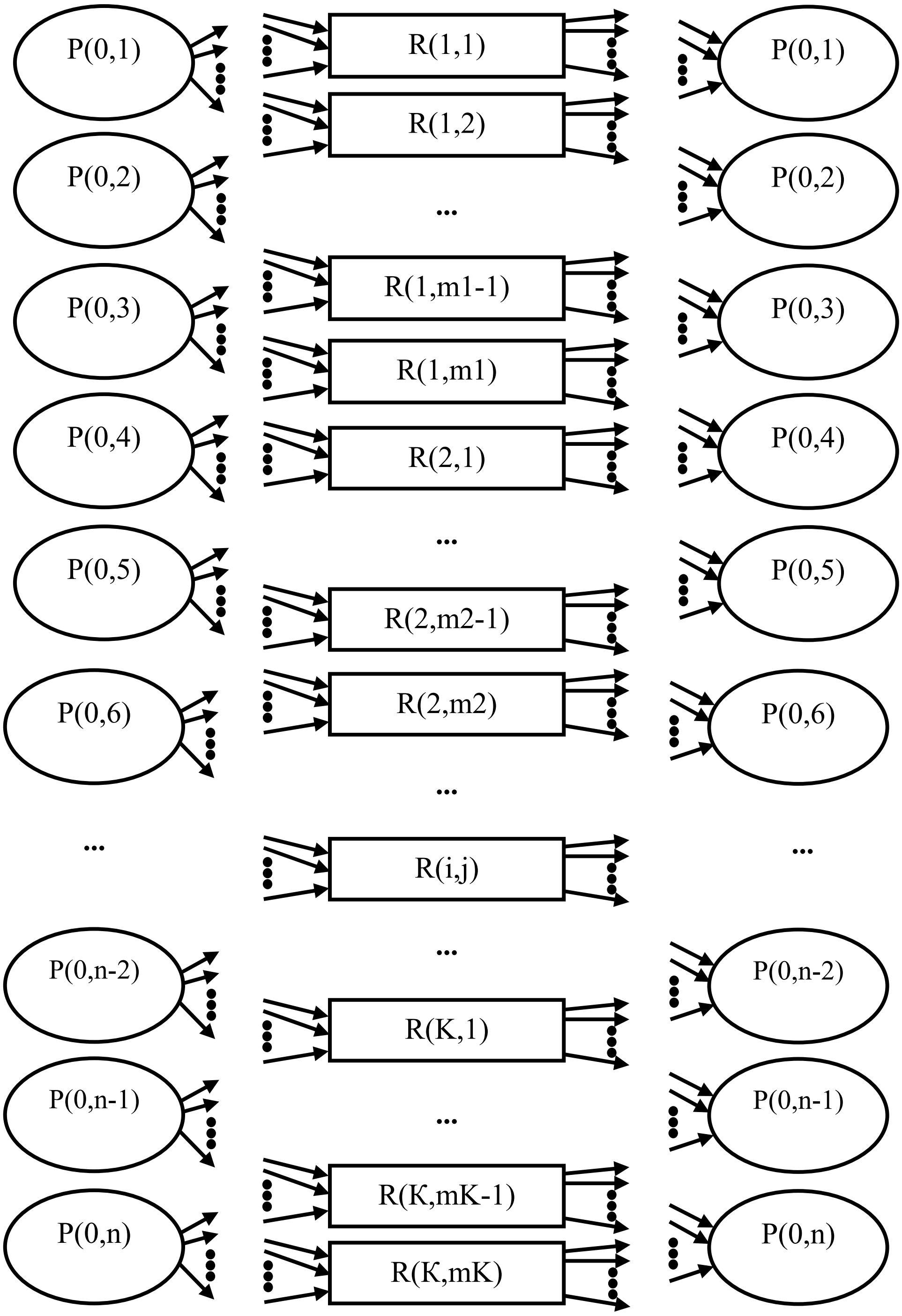


Рисунок 4 – Пример (К+1)-дольного графа миварной логической сети

В ходе дальнейших исследований по развитию миварного подхода запланировано проведение экспериментов по нескольким вариантам практической реализации хранения правил с тремя или более значениями правил выбора. Кроме того, отдельно будем вводить специальные переменные для правил выбора в общем списке переменных. В этом списке тоже теперь должно быть три значения: 1) да; 2) не известно; 3) не будут иметь значение, что порождает необходимость проведения новых исследований. Отметим, что в результате полученных модификаций появляется новое ограничение, так как правила выбора могут запускаться только в том случае, если уже

вычислены все конкретные переменные, чтобы можно было определить «ветвь вычислений». Впрочем, если у нас много вычислительных ресурсов, то иногда можно «просчитывать» сразу по нескольким веткам алгоритма, а потом подставлять конкретные значения. Это аналогично известному подходу «недоопределенные переменные», когда учитывают такие переменные при расчетах в качестве констант, значения которых подставляют в самом конце вычислений, когда все переменные определены и вычислены.

Итак, снято еще одно ограничение с миварных сетей и теперь можно решать задачи с «выбором», когда только часть переменных получает значение после выполнения правила, то есть аналог выбора ДА или НЕТ. Разные предметные области или части этих областей можно представлять в виде трехмерной матрицы, наращивая «вверх» описания частей предметных областей или новых предметных областей.

Выводы

Для расширения возможностей баз данных и экспертных систем предложены новые пути развития миварных сетей на основе трехдольных и многодольных графов для реализации правил выбора вида «Если..., то..., иначе...» в целях эволюционного моделирования, накопления данных и унифицированной интеллектуальной обработки логических правил и выполнения вычислительных процедур в реальном времени. Важным фактором является то, что вычислительная сложность решения любых задач на миварных сетях является линейной по отношению к переменным, либо по отношению к правилам. Это позволяет обрабатывать сложные практические задачи с несколькими десятками тысяч переменных в реальном масштабе времени, что нашло свое практическое подтверждение в реальных условиях эксплуатации.

Литература

1. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов / Поспелов Д.А. – М. : Радио и связь, 1989. – 184 с.
2. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера / Кузнецов О.П. – [6-е изд., стер.] – СПб : Лань, 2009. – 400 с.
3. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство / Варламов О.О. – М. : Радио и связь, 2002. – 288 с.
4. Хорошевский В.Ф. Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web (Часть 1) / В.Ф. Хорошевский // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 80-97.
5. Варламов О.О. Разработка линейного матричного метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил / Варламов О.О. // Известия вузов. Электроника. – 2002. – № 6. – С. 43-51.
6. Применение многопроцессорного вычислительного кластера НИИР для распараллеливания алгоритмов в научно-технических и вычислительных задачах / А.Н. Владимиров, О.О. Варламов, А.В. Носов, Т.С. Потапова // Труды НИИР : сб. ст. – 2009. – № 3. – С. 120-124.
7. Программа «УДАВ»: реализация линейной вычислительной сложности матричного метода поиска маршрута логического вывода на основе миварной сети правил / Варламов О.О., Носов А.В., Владимиров А.Н., Потапова Т.С. // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 443-448.
8. Варламов О.О. Анализ взаимосвязей GRID и САС ИВК, SOA и миварного подхода / О.О. Варламов // Искусственный интеллект. – 2005. – № 4. – С. 4-11.
9. Кук Д. Компьютерная математика / Д. Кук, Г. Бейз; пер. с англ. – М. : Наука, Гл.ред.физ.-мат.лит., 1990. – 384 с.
10. Когаловский М.Р. Энциклопедия технологий баз данных / Когаловский М.Р. – М. : Финансы и статистика, 2005. – 800 с.

11. Марков А.С. Базы данных. Введение в теорию и методологию : учебник / А.С. Марков, К.Ю. Лисовский. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 512 с.
12. Саймон А.Р. Стратегические технологии баз данных: менеджмент на 2000 год / Саймон А.Р.; пер. с англ.; под ред. и с предисл. М.Р. Когаловского. – М. : Финансы и статистика, 1999. – 479 с.
13. Ахо А.В. Структуры данных и алгоритмы / Ахо А.В., Хопкрофт Д.Э., Ульман Д.Д. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 400 с.
14. Кузнецов С.Д. Базы данных: языки и модели / Кузнецов С.Д. – М. : ООО «Бином-Пресс», 2008. – 720 с.
15. Веб-сайт компании МИВАР. – Режим доступа : // http://www.mivar.ru. 2010.
16. Варламов О.О. Разработка адаптивного механизма логического вывода на эволюционной интерактивной сети гиперправил с мультиактивизаторами, управляемой потоком данных / О.О. Варламов // Искусственный интеллект. – 2002. – № 3. – С. 363-370.
17. Варламов О.О. Основы многомерного информационного развивающегося (миварного) пространства представления данных и правил / О.О. Варламов // Информационные технологии. – 2003. – № 5. – С. 42-47.
18. Варламов О.О. Системы обработки информации и взаимодействие групп мобильных роботов на основе миварного информационного пространства / О.О. Варламов // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 695-700.
19. Варламов О.О. Создание интеллектуальных систем на основе взаимодействия миварного информационного пространства и сервисно-ориентированной архитектуры / О.О. Варламов // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. – С. 13-17.
20. Варламов О.О. О необходимости перехода от теории искусственного интеллекта к разработке теории активного отражения // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2007. – Т. 77, № 2. – С. 89-95.
21. Веб-сайт д.т.н. Варламова О.О. – Режим доступа : // http://www.ovar.narod.ru. 2010.

О.О. Варламов, О.М. Владимиров, Р.А. Санду

Теоретичний розвиток технології міварних логіко-обчислювальних мереж для реалізації правил вибору «ЯКЩО ..., ТО ..., ІНАКШЕ ...» на основі багаточасткових графів

У статті розглядається теоретичний розвиток технології міварних логіко-обчислювальних мереж. Міварні мережі та продукції використовуються для створення різних експертних систем і багатовимірних еволюційних прикладних автоматизованих інформаційних систем (МЕПАІС) підтримки прийняття рішень. Проведено аналіз різних моделей даних в теорії баз даних і показані передумови появи міварного інформаційного простору і міварних логічних мереж, як розвитку ідей «активних» і «дедуктивних» баз даних. Для розширення можливостей із застосування цих формалізмів проведено аналіз існуючих підходів та запропоновано нові шляхи розвитку міварних мереж на основі тричасткових і багаточасткових графів для реалізації правил вибору виду «Якщо ..., то ..., інакше ...» для еволюційної обробки логічних правил і обчислювальних процедур в реальному часі.

O.O. Varlamov, A.N. Vladimirov, R.A. Sandhu

The Theoretical Development of MIVAR Logical Networks Technology for the Implementation for the Rules of Choice «IF ... THEN ..., ANYWAY ...» on Multipartite Graphs

The article discusses the theoretical development of mivar logical-computing networks the technology. Mivar network and products used to create different expert systems and multi-dimensional evolutionary applications of automated information systems (MEPAIS) decision support. The analysis of different data models in database theory was made and prerequisites for the mivar information space and mivar logical networks, as the development of ideas of "active" and "deductive" databases was shown. To enhance the application of these formalisms analysis of existing approaches was made and new ways of networks development mivar based on triplex and multipartite graphs was suggested for the implementation of the rules for choice of the form "if ... then ... anyway ..." for the evolutionary elaboration of logical rules and computational procedures in real time.

Статья поступила в редакцию 19.07.2010.